6Г

УДК 004.274

И.Г. Герасимов, А.И. Шевченко
Институт проблем искусственного интеллекта
МОН Украины и НАН Украины, г. Донецк, Украина
Украина, 83048, г. Донецк, ул. Артема, 118б

Подходы к разработке алгоритма функционирования цитокомпьютера

I.G. Gerasimov, A.I. Shevchenko
Institute of Artificial Intelligence MES Ukraine and NAS Ukraine, Donetsk , Ukraine
Ukraine, 83048, Donetsk, Arthema st., 118б

Approaches to Development of the Algorithm of Functioning of Citocomputer

І.Г. Герасимов, А.І. Шевченко
Інститут проблем штучного інтелектуМОН України і НАН України, м. Донецьк
Україна, 83048, м. Донецьк, ул. Артема, 118б

Підходи до розробки алгоритму функціонування цітокомп'ютера

В работе обсуждается один из возможных алгоритмов функционирования цитокомпьютера – биокомпьютера, основанного на алгоритмах клеточного функционирования и имеющейся материальной базе (микросхемы). Основой такого алгоритма является соотнесение процессов жизнедеятельности клетки, определяемых величиной концентрации в ней и во внеклеточной среде ионов водорода, или pH, с процессами функционирования цитокомпьютера. Кроме того, обсуждается возможность регулирования функционирования цитокомпьютера посредством изменения содержания в клетке кислорода.
Ключевые слова: цитокомпьютер, алгоритм функционирования, клетка, клеточная жизнедеятельность, пролиферация, дифференцировка, созревание, апоптоз, некроз.

In work is discussed one of the possible algorithm of citocomputer – of biocomputer, which founded on algorithm of the cellular functions and on available material base (microcircuits). The base of such algorithm is a correlating the processes to vital functions of cells, which determinate by value to concentrations in her and in extracellular environment of ion hydrogen, or pH, with process of functioning citocomputer. Besides, possibility of regulation functioning citocomputer by means of change the contents in cell of the oxygen is discussed.
Keywords: citocomputer, algorithm of functioning, call, cellular vital functions, proliferation, differentiation, maturation, apoptosis, necrosis.

В роботі обговорюється один з можливих алгоритмів функціонування цитокомп'ютера – біокомп'ютера, заснованого на алгоритмах клітинного функціонування та наявної матеріальної бази (мікросхеми). Підставою такого алгоритму є співвідношення процесів життєдіяльності клітини, що опосередкуються величиною концентрації в ній та в позаклітинному середовищі іонів водню, або pH, із процесами функціонування цитокомп'ютеру. Крім того, обговорюється можливість регулювання функціонування цитокомп'ютеру за рахунок зміни вмісту в клітині кисню.
Ключові слова: цітокомп'ютер, алгоритм функціонування, клітина, клітинна життєдіяльність, проліферація, диференцировка, дозрівання, апоптоз, некроз.

Введение

Нами развивается представление о биокомпьютере, функционирование которого основано на принципах жизнедеятельности клеток – цитокомпьютере [1]. Кратко суть идеи сводится к следующему. Клетки способны совершать определенные эволюции (делиться – пролиферировать, или дифференцировать с последующим созреванием или без него, перерождаться – трансформироваться, а также погибать одним из двух способов – некрозом или апоптозом). Иными словами, клетки решают определенные задачи, совершая эволюции, ведущие к нахождению оптимальных в данных условиях возможностей функционирования. На основании подобных эволюций может быть построен алгоритм функционирования компьютера с использованием традиционных микросхем. При этом поиск пути решения задачи будет аналогичен пути, выбираемого клеткой с целью оптимизации своего состояния и состояния системы, в которой она находится [1].

Такой подход предлагается в первую очередь для решения логических задач. Условия задачи представляются многими параметрами внешней среды, в которой клетка функционирует. С другой стороны, параметры, влияющие на жизнедеятельность клеток многообразны. В связи с этим необходимо определить основные из них, которые могли бы быть использованы в качестве параметров, управляющих функционированием цитокомпьютера.

Возможный алгоритм функционирования цитокомпьютера

Одним из важнейших параметров внешней (и внутренней) среды, определяющих поведение и жизнедеятельность клеток, является содержание в ней ионов водорода (H^+), концентрация ($[H^+]$) которых (pH) представляется отрицательным логарифмом:

$$pH = -\log[H^+]. \tag{1}$$

Основные следствия клеточного поведения при разнообразных изменениях pH достаточно подробно проанализированы в работах [2], [3]. На основании положений, рассмотренных в статье [2], представляется целесообразным определить некоторые условия функционирования цитокомпьютера в зависимости от значений $[H^+]$ или pH внеклеточной и внутриклеточной среды (соответственно $[H^+]_i$ и $[H^+]_e$ или $(pH)_i$ и $(pH)_e$, (1)), т.е. от условий задачи. При этом в процессе решения задачи значения параметров (и не только $[H^+]$) внешней и внутренней среды постоянно и закономерно изменяются и корректируются, зависимо от того, приближает сделанный на пути к решению шаг от собственно решения или удаляет от него.

Остановка работы происходит при достижении $\Delta[H^+] = [H^+]_i - [H^+]_e$ – уставочного значения $\Delta[H^+]$ ($\Delta[H^+] > 0$ в любой момент времени), соответствующего предполагаемому решению задачи. В начальный момент времени $t = 0$ имеется следующее соотношение: $[H^+]_{i0} < [H^+]_{e0}$. На каждом шаге (в каждый момент времени) в клетке (клеткой) расходуются $[H^+]_i$ и нарабатывается определенное количество CO_2, которое квантами выделяется во внеклеточную среду, что приводит к соотношению $[H^+]_{it} < [H^+]_{et}$. При этом значение $\Delta[H^+]$ уменьшается ввиду расходования в клетке $[H^+]_i$ и образования во внеклеточной среде дополнительного количества $[H^+]_e$ по схеме:

$$H_2O + CO_2 \rightarrow H_2CO_3 \rightarrow H^+ + HCO_3^{2-}, \tag{2}$$

(первая стадия реакции в принципе обратима), что все более приближает $\Delta[H^+]$ к уставочному.

Более тонкое регулирование в процессе решения задачи может быть осуществлено по концентрациям: например: ионов натрия и калия во внеклеточной и внутриклеточной среде, которые, в свою очередь, влияют на эффективную концентрацию H^+.

В предлагаемом алгоритме функционирования цитокомпьютера не удачно то, что любой шаг (в том числе, и неверный) будет приводить к уменьшению $\Delta[H^+]$, и клетка не «узнает» о том, что находится на ложном пути, если она на него вступила, пока не завершит его. Выход может быть, например, следующим. В случае неверного шага блокируется поступление кислорода в клетку. Недостаток кислорода изменяет функционирование клетки. В таком случае содержание в клетке кислорода должно быть на минимальном уровне, необходимом для функционирования, точнее для нормального функционирования (по-видимому, так оно и есть в живых клетках при нормальных условиях). Таким образом, каждый неверный шаг будет последовательно вводить клетку в состояние с пониженным содержанием кислорода или его недостатком (к субоксии или к гипоксии), что вынудит ее к поиску пути верного решения, путем наработки новых H^+ по схеме (2).

Формальным решением является достижение клеткой состояния с определенным значением $([H^+]_i)_{end}$ (конечная концентрация $[H^+]_i$) и, кроме того, определенное распределение H^+ по величине активности [3], а также заданные значения концентрации других веществ (в частности, кислорода, ионов калия и натрия). Ответ вообще, скорей всего, может быть дан только в терминах параметров спектра активности H^+ (распределение H^+ активности) [3], тогда как достижение уставочного значения $\Delta[H^+]$ или, что в какой-то мере аналогично, $([H^+]_i)_{end}$ – это команда «стоп». Впрочем, последняя команда может означать, что задача не имеет решения или найти его при заданных условиях не удается.

Для дальнейшего обсуждения введем обозначения (табл. 1). Словарь используемых терминов клеточной жизнедеятельности приведен в приложении [2]. Заметим, что, как видно из таблицы, апоптоз и некроз могут реализоваться, как в кислой ($pH < 7$), так и в щелочной ($pH > 7$) области значений pH. Кроме того, следует учесть, что приведенные в табл. 1 критические значения pH по величине, как правило, расположены в следующем порядке: $(pH)_{nek_al} > (pH)_{apt_al} > (pH)_{max} > (pH)_{min} > (pH)_{prl} > (pH)_{dif} > (pH)_{mut} > (pH)_{apt_as} > (pH)_{trn} > pH)_{nek_as}$ [2]. Изменение pH в щелочную сторону ($pH > (pH)_{max}$), т.е. его увеличение, безусловно, означает, что задача не имеет решения или при заданных условиях оно не может быть найдено.

Таблица 1 – Обозначение и смысл значения pH жизнедеятельности клетки

Обозначение	Смысл значения pH для клетки
$(pH)_{max}$	наибольшее в покое
$(pH)_{min}$	наименьшее в покое
$(pH)_{prl}$	наименьшее пролиферации
$(pH)_{dif}$	наименьшее дифференцировки
$(pH)_{mut}$	наименьшее созревания
$(pH)_{apt_as}$	наименьшее апоптоза в кислой области
$(pH)_{trn}$	наименьшее трансформации
$(pH)_{nek_as}$	наименьшее некроза в кислой области
$(pH)_{apt_al}$	наибольшее апоптоза в щелочной области
$(pH)_{nek_al}$	наибольшее некроза в щелочной области

Теперь удобно поставить процессы жизнедеятельности клетки в соответствие функционированию цитокомпьютера (табл. 2). Диапазоны рН в принципе могут перекрываться, причем не только соседние, что означает возможность одновременного протекания различных процессов особенно в случае трансформации и апоптоза или некроза в кислой области. Не перекрываются, пожалуй, только области рН, соответствующие пролиферации и дифференцировке. Последнее означает, с точки зрения клеточной жизнедеятельности, что все клетки, вышедшие из состояния покоя либо пролиферируют, либо дифференцируются. В терминах цитокомпьютера такое положение указывает на то, что одновременная наработка для скорейшего решения задачи копий из имеющихся в наличии программных модулей и поиск наилучшего алгоритма из наличных не представляются возможной. Такое положение закономерно, поскольку, если решение задачи требует поиска алгоритма, то этот процесс должен предшествовать наработке соответствующих копий программных модулей, реализующих не заданный заранее алгоритм. Лишь в том случае, когда алгоритм решения задачи известен, цитокомпьютер может ограничиться процессом, соответствующим пролиферации в терминах клеточной жизнедеятельности.

Таблица 2 – Диапазоны рН, в которых реализуется процесс жизнедеятельности клетки, соотнесенный с процессом функционирования цитокомпьютера

Диапазон рН	Процесс	
	жизнедеятельности клеток	функционирования цитокомпьютера
$(pH)_{max} – (pH)_{min}$	покой	постановка задачи
$(pH)_{min} – (pH)_{prl}$	пролиферация	наработка копий программных модулей из имеющихся
$(pH)_{prl} – (pH)_{dif}$	дифференцировка	поиск наилучшего алгоритма из имеющихся
$(pH)_{dif} – (pH)_{mut}$	созревание	адаптация алгоритма
$(pH)_{apt_as} – (pH)_{trn}$	трансформация	разработка нового алгоритма и новых программных модулей
$(pH)_{dif} – (pH)_{apt_as}$	апоптоз	задача решена
$(pH)_{apt_al} – (pH)_{max}$	то же	то же
$(pH)_{trn} – (pH)_{nek_as}$	некроз	задача не имеет решения или оно не может быть найдено
$(pH)_{nek_al} – (pH)_{apt_al}$	то же	то же

Обратим также внимание на то, что в организме имеются клетки разных типов (собственно, дифференцировка, созревание и трансформация и являются процессами, в которых такие клетки образуются), способных по-разному проявлять свою жизнедеятельность при одинаковых значениях внеклеточного рН, что соответствует разным наличным программным модулям цитокомпьютера. В связи с этим (прежде всего, но и не только), появляется возможность регулирования клеточной жизнедеятельности и, соответственно, функционирования цитокомпьютера, параметрами спектра активности H^+.

Например, несмотря на то, что внеклеточный и внутриклеточный рН может быть одинаков для всех клеток, те типы клеток, в которых больше более активных H^+, переходят к дифференцировке, а те, в которых таких H^+ меньше, – продолжают пролиферировать. Аналогичным образом клетками разных типов, а также клетками одного может осуществляться и любой другой альтернативный выбор.

Наконец заметим, что команде «стоп» (достижению величины $([H^+]_i)_{end}$) соответствуют следующие диапазоны pH: $(pH)_{dif} – (pH)_{apt_as}$, $(pH)_{apt_al} – (pH)_{max}$, $(pH)_{trn} – (pH)_{nek_as}$, $(pH)_{nek_al} – (pH)_{apt_al}$ (см.уравнение (1) и табл. 2).

Заключение

Таким образом, впервые предложена аналогия между жизнедеятельностью клетки и функционированием цитокомпьютера, что позволяет приступить к разработке последнего. Вместе с тем рассмотренная идеология функционирования цитокомпьютера, естественно, не является единственно возможной и тем более окончательной. Регулирование по величине pH даже при участии кислорода, разумеется, является не очень сильным и не всегда и не вполне эффективным. В дальнейшем необходимо, во-первых, уточнить некоторые аспекты регулирования по величине содержания кислорода, а также, во-вторых, привлечь к регулированию функционированием цитокомпьютера другие регуляторные вещества, в частности, ионы натрия и калия.

Приложение.
Словарь использованных в статье цитологических терминов

Апоптоз – программируемая гибель клетки, завершающаяся поглощением ее содержимого специализированными клетками.

Дифференцировка – деление клетки с образованием двух дочерних клеток, одна из которых идентична исходной (материнской), а другая отлична от нее по структуре и функциям.

Некроз – гибель клетки, завершающаяся выходом ее содержимого во внутреннюю среду организма.

Покой – клетка не совершает никаких эволюций, а функционирует необходимым образом в данном состоянии.

Пролиферация – деление клетки сообразованием двух дочерних клеток, идентичных материнской.

Созревание – изменение структуры дифференцированной клетки, в результате чего она приобретает необходимые функции.

Трансформация – перерождение, изменение структуры и функции клетки в результате мутации.

Список литературы

1. Герасимов И.Г. Биокомпьютер – цитокомпьютер: основные положения / И.Г. Герасимов // Искусственный интеллект. – 2014. – № 2. – С. 134-140.
2. Герасимов. И.Г. Влияние pH на деление клеток, их трансформацию и гибель / И.Г. Герасимов // Вісн. Донецького Нац. ун-ту. Сер. А. Природничі науки. – 2010. – Вип. 1. – С. 222-229.
3. Герасимов И. Регулирование в биологических системах: неравновесная термодинамика и ионно-электронные поля / И. Герасимов – Saarbrucken : LAP Lambert Academic Publishing GmbH & Co.KG, 2011. – 310 с.

References

1. Gerasimov I. G. Biocomputer – citocomputer: osnovnie pologenia // Iscustvenny intellekt.– 2014.– № 2.– S. 134–140.
2. Gerasimov I. G. Vlianie pH ya delenie kletok, ish transformaci'u i gibel // Visn. Donetskogo Nats. un-ty. Ser. A. Prirodnitchi nauki.– 2010.– Vup. 1.– S. 222–229.
3. Gerasimov I. Regulirovanie v biologisheskish sistemach: neravnovesnaya termodinamica i ionno-elektronnie polya.– Saarbrucken: LAP Lambert Academic Publishing GmbH & Co.KG, 2011.– 310 s.

RESUME

I.G. Gerasimov, A.I. Shevchenko

Approaches to Development of the Algorithm of Functioning of Citocomputer

Creation of citocomputer – of biocomputer, which founded on algorithm of the cellular functions and on available material base (microcircuits), – requires the development corresponding to algorithm. In work as one of them is considered possibility of comparison the processes to of cellular vital functions, controlled change extracellular and intracellular of concentrations ion hydrogen ([H+]), or pH = –log [H+], with process of functioning citocomputer.

In proposed algorithm finding cells at rest corresponds to the statement of problem; the process of the cellular fission (proliferation) – a lifelength of replicas program modules from have available; the process of cellular fission with forming of cells of new type (differentiation) – searching for of the best algorithm from have available; the process of maturation of cells – an adapting the selected algorithm to condition of problem; the process of regeneration of cells (transformation) – a development of new algorithm and new program modules; the programmed death of cells (apoptosis) – a decision of problem; the nonprogrammable death of cells (necrosis) – a report on that this problem has no decisions or it can be not found on various reasons. Each of processes cellular vital functions and operation of citocomputer is put in accordance to determined range pH, initial significance which in intracellular and extracellular environment present itself condition problem.

Besides from this, is in brief considered possibility of regulation to cellular vital functions and corresponding to operation of citocomputer on contents in cell of oxygen that to apply restriction on decision of problem.

It pay attention to smb, that regulation to cellular vital functions and functioning of citocomputer on value pH and contents of oxygen is not very strong and not always and not wholly efficient. On such reason, hereinafter necessary, elaborate some aspects of regulation on this parameters, as well as call to regulation to functioning of citocomputer other regulator substances, in particular, ions sodium and potassium.

Статья поступила в редакцию 12.05.2014.